

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Ana-Petra Kovač

6951/PT

PONOVNA UPOTREBA KOMUNALNE OTPADNE VODE
ZAVRŠNI RAD

Predmet: Tehnologija vode

Mentor: prof.dr.sc. Marin Matošić

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo

Laboratorij za tehnologiju vode

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

PONOVNA UPOTREBA KOMUNALNE OTPADNE VODE

Ana-Petra Kovač, 0058205154

Sažetak:

U ovom radu opisani su postupci obrade otpadnih voda i zakonska regulativa prema kojoj se obrađena otpadna voda može ispuštati u prirodni recipijent. Dostupan je i pregled sustava javne odvodnje prema stupnju pročišćavanja otpadnih voda na razini Republike Hrvatske. Zbog sve veće potrebe za vodom u svijetu, razvijaju se suvremene tehnologije za obradu otpadnih voda kojima se postiže dobra kvaliteta vode. Najviše se upotrebljavaju membranski procesi i dodatna dezinfekcija kako bi se spriječile zarazne bolesti. Takva voda može se ponovno iskoristiti za neke druge potrebe pa tako postoje mnogi dobri primjeri u svijetu, a jedan od njih je Izrael koji svoju otpadnu vodu koristi za navodnjavanje i za industrijske potrebe. Postoje i primjeri izravne ponovne upotrebe u Singapuru i Namibiji gdje se obrađena voda koristi za piće.

Ključne riječi: komunalna otpadna voda, obrada otpadne vode, ponovna upotreba otpadnih voda

Rad sadrži: 25 stranica, 5 tablica, 32 literaturna navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: prof.dr.sc. Marin Matošić

Datum obrane: 20. rujna 2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

**University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Food Technology**

**Department of Food Engineering
Laboratory for Water Technology**

**Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology**

REUSE OF MUNICIPAL WASTEWATER

Ana-Petra Kovač, 0058205154

Abstract:

This paper describes wastewater treatment processes and the legislation regulating according to which the treated wastewater can be released into a natural recipient. There is also an overview of the public sewage system according to the degree of wastewater treatment at the level of the Republic of Croatia. Because of the growing water demand in the world, modern technology for wastewater treatment is developed to achieve good water quality. It is most used membrane processes and additional disinfection to prevent contagious diseases. This treated water can be reused for some other needs, so there are many good examples in the world, one of them is Israel which uses its wastewater for irrigation and for industrial purposes. There are also examples of direct reuse in Singapore and Namibia where water is used for drinking.

Key words: Municipal Wastewater, Wastewater Treatment, Reuse of Wastewater

Thesis contains: 25 pages, 5 tables, 32 references

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: PhD Marin Matošić, Professor

Defence date: September 20th 2018

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OTPADNE VODE	2
2.1 PODJELA OTPADNIH VODA	2
2.1.1 Kućanske ili komunalne otpadne vode	2
2.1.2 Industrijske otpadne vode	2
2.1.3 Otpadne vode stočnih uzgajališta	3
2.1.4 Otpadne vode odlagališta smeća	3
2.1.5 Oborinske vode (padaline)	3
2.1.6 Rashladne vode	3
2.2 KARAKTERISTIKE OTPADNIH VODA	3
3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	5
3.1. Prethodno pročišćavanje	6
3.2. Prvi stupanj pročišćavanja	6
3.3. Drugi stupanj pročišćavanja	6
3.3.1. Uređaj na bazi aktivnog mulja	6
3.3.2. Sekvencijalni šaržni reaktor (SBR)	7
3.3.3. Membranski biološki reaktor (MBR)	7
3.3.4. Prirodni uređaji za pročišćavanje	8
3.4. Treći stupanj pročišćavanja	9
4. ISPUŠTANJE OTPADNIH VODA U PRIJEMNIK	10
5. PONOVO KORIŠTENJE PROČIŠĆENE OTPADNE VODE	12
5.1. Pročišćavanje otpadnih voda za ponovnu upotrebu	13
5.1.1. Membranski procesi	14
5.1.2. Dezinfekcija vode	14
5.2. Primjeri iz svjetske prakse	15
5.3. Stanje na razini Europske unije	18
5.4. Stanje u Hrvatskoj	20
6. ZAKLJUČAK	21
7. LITERATURA	22

1. UVOD

Voda je jedinstvena i nezamjenjiva prirodna sirovina bez koje život ne bi bio moguć. Svrstava se među obnovljive prirodne izvore u smislu količine vode, ali teško obnovljive u smislu kakvoće vode. Više od 97% vode na Zemlji čini slana morska voda koju čovjek ne može koristiti, a manje od 3% otpada na slatku vodu od koje je više od dvije trećine zarobljeno u ledenjacima. Procjenjuje se da je samo 1% slatke vode (0,007% od sveukupne vode na Zemlji) moguće koristiti za potrebe čovječanstva. Mnogi ljudi ne shvaćaju važnost očuvanja kvalitete vode pa je zbog toga potrebno promijeniti svijest ljudi o odgovornom korištenju vode. Porastom stanovništva, ali i razvojem industrije te poljoprivrede, potrošnja vode za razne potrebe postaje sve veća pa se kao rezultat toga javlja problem stvaranja velike količine otpadnih voda. Veliki dio otpadnih voda otpušta se u okoliš direktno, bez prethodnog pročišćavanja i bez ikakve namjere ili želje da se ta otpadna voda nakon pročišćavanja ponovno upotrebljava u druge svrhe. Zbog toga je potrebno potpuno drugačije sagledati problem otpadnih voda i pristupiti rješavanju tog problema na učinkovitiji način. U nekim dijelovima svijeta gdje postoji niska dostupnost vode, prisutni su mnogi problemi vezani uz održivo upravljanje vodenim resursima. Zbog sve veće potražnje za vodom nužno je ulagati u posebne tehnike štednje vode, ali i poboljšanje sustava upravljanja otpadnim vodama. Često je razlog nedostatka pročišćavanja otpadnih voda financijski, ali problem je i nedovoljna informiranost o prednostima procesa pročišćavanja otpadnih voda i ekonomske koristi od ponovne upotrebe takve vode. Tako bi se na primjer u mjestima gdje je manja dostupnost vode, pročišćena otpadna voda mogla koristiti za navodnjavanje pa bi se time smanjila potrošnja vode za piće. U ovom su radu navedeni neki dobri primjeri država koje upotrebljavaju obrađenu otpadnu vodu za različite namjene, a najviše za navodnjavanje. Razvojem novih tehnologija omogućeno je uklanjanje širokog raspona kontaminanata u otpadnim vodama pa su projekti ponovne upotrebe pročišćene otpadne vode danas sve češći, ne samo iz ekonomskih razloga, već i iz perspektive ekološke odgovornosti.

2. OTPADNE VODE

Prirodna voda koja je korištena za određenu namjenu, pri čemu dolazi do promijene kakvoće same vode, naziva se otpadnom vodom. Ona nastaje unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem hranjivih i drugih tvari, toplinske energije te drugih uzročnika onečišćenja u količini kojima se mijenjaju svojstva vode u odnosu na njihovu ekološku funkciju i namjensku uporabu (Državni plan za zaštitu voda, NN 8/99). Terenskim uzorkovanjem i laboratorijskom analizom utvrđuje se sadržaj pojedinih onečišćujućih tvari u otpadnoj vodi na temelju kojih slijedi daljnje planiranje i projektiranje postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda.

2.1 PODJELA OTPADNIH VODA

Prema podrijetlu otpadne vode mogu se podijeliti u nekoliko kategorija:

- kućanske otpadne vode
- industrijske otpadne vode
- otpadne vode stočnih uzgajališta
- otpadne vode odlagališta smeća (deponije gradskog čvrstog otpada)

Osim navedenih, postoje i vode koje se uvjetno mogu smatrati otpadnim vodama, a to su oborinske vode (padaline) te rashladne vode (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

2.1.1 Kućanske ili komunalne otpadne vode

Kućanske ili komunalne otpadne vode obuhvaćaju sve otpadne vode iz javnih prostora, kućanstava te malih industrijskih pogona. One se sastoje od fekalija, urina i vode korištene za njihovo ispuštanje, te otpadnih voda dobivenih kupanjem, pranjem rublja, pripremanjem hrane i čišćenjem (Mara, 2004). Na sastav komunalne vode i koncentraciju otpadnih tvari ponajviše utječe način života, klimatske prilike, ali i raspoloživa količina vode te izgrađenost vodoopskrbnog sustava.

2.1.2 Industrijske otpadne vode

Industrijske otpadne vode koriste se tijekom provođenja različitih tehnoloških procesa u industrijskim postrojenjima. Njihova kakvoća varira ovisno o sirovinama koje se koriste u proizvodnom procesu. Prema sastavu industrijske otpadne vode mogu se podijeliti na otpadne vode u kojima su prisutni biološki lako razgradivi sastojci (npr. prehrambena i fermentativna industrija) i na otpadne vode u kojima su prisutni teško biorazgradivi sastojci (npr. kemijska, farmaceutska i celulozna industrija) (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

S obzirom na to da industrijske otpadne vode iz različitih grana industrije imaju različiti sastav otpadnih tvari pa se iz tog razloga ne mogu međusobno uspoređivati, fokus ovog rada bit će usmjeren na komunalne otpadne vode.

2.1.3 Otpadne vode stočnih uzgajališta

U otpadnim vodama stočnih uzgajališta većinom su prisutni biorazgradivi sastojci. Najčešće su te vode podrijetlom s farmi svinja, goveda, peradi i drugih životinja (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Ove vode opterećene su organskim i hranjivim tvarima te različitim reziduima pa se iz tog razloga smatraju visoko rizičnim vodama.

2.1.4 Otpadne vode odlagališta smeća

Otpadne vode odlagališta smeća (procjedne otpadne vode) obuhvaćaju oborinske vode koje prolaze kroz deponijsku masu i pri tome apsorbiraju različite biološki teško razgradive sastojke koji negativno utječu na okoliš i na ljudsko zdravlje (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

2.1.5 Oborinske vode (padaline)

Oborinske vode smatraju se uvjetno otpadnim vodama jer one same po sebi nisu onečišćene, ali prolazeći kroz atmosferu i otapanjem plinovitih sastojaka koji vodi daju nisku pH vrijednost dolazi do njihovog onečišćenja i kao rezultat toga nastaju tzv. "kisele kiše". Oborinske vode mogu se onečistiti i prolaskom kroz propusno zemljište koje sadrži visoku koncentraciju gnojiva (dušika i fosfora), pesticida i herbicida (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

2.1.6 Rashladne vode

Rashladne vode smatraju se uvjetno otpadnim vodama jer je u njima prisutno "toplinsko onečišćenje" koje nastaje prilikom hlađenja industrijskih postrojenja. Dugotrajnom upotrebom rashladne vode mogu se razviti alge, bakterije i protozoe koje predstavljaju mikrobiološko onečišćenje (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

2.2 KARAKTERISTIKE OTPADNIH VODA

Porijeklo onečišćujućih tvari u otpadnim vodama ima najveći utjecaj na njihova svojstva, a ta onečišćenja mogu biti kemijska, biološka i fizikalna. Pod pojmom kemijskih onečišćenja smatra se prisustvo kiselina, lužina, raznih soli, pesticida i ostalih spojeva koji su opasni za ljudsko zdravlje i okoliš. U biološke onečišćivače ubrajaju se bakterije, virusi, alge i ostali organizmi koji mogu izazvati razne zarazne bolesti. U fizikalna onečišćenja ubrajaju se toplinsko onečišćenje nastalo ispuštanjem rashladnih voda iz industrijskih postrojenja, zatim

promjene boje vode, pojava mirisa, prisutnost čvrstih tvari, pijeska, mulja i sl. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u otpadnim vodama zakonski se reguliraju, a s obzirom na veliki broj konstituenata u njima, koristi se tek nekoliko parametara kojima se određuje stupanj pročišćavanja. Neki od tih parametara su BPK (biokemijska potrošnja kisika), KPK (kemijska potrošnja kisika), količina suspendirani tvari, dušika, fosfora, metala i patogenih bakterija i virusa (Šperac i sur., 2013). Biokemijska potrošnja kisika (BPK) predstavlja količinu kisika koja je potrebna za oksidaciju organskih tvari koju provode aerobni organizmi. BPK se obično izražava kao BPK_5 , tj. količina kisika potrebna za oksidaciju organskih tvari tijekom 5 dana na temperaturi od 20°C. Voda u kojoj BPK_5 prelazi neku određenu vrijednost je onečišćena, odnosno preopterećena je organskom tvari. Kemijska potrošnja kisika (KPK) je parametar koji predstavlja ukupnu količinu kisika koja se troši za razgradnju organskih tvari, a koja je ekvivalentna koncentraciji oksidansa (Mara, 2004).

3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Otpadne vode mogu imati negativan utjecaj na vodeni i kopneni ekosustav, na ljudsko zdravlje, materijalnu imovinu ili na ostale oblike korištenja okoliša pa je iz tog razloga potrebno djelomično ili potpuno odstraniti onečišćujuće tvari iz otpadnih voda prije samog ispuštanja u okoliš. U iznimnim slučajevima kada prijamnik otpadne vode služi kao vrlo veliki razrjeđivač, u obzir može doći i ispuštanje netretirane otpadne vode. Primjer takvog ispuštanja je grad Manaus u amazonskoj regiji Brazila koji ispušta nepročišćenu otpadnu vodu kroz riječni ispust u Rio Negro, pritoka rijeke Amazone, koja ima protok od 30.000 m³ u sekundi pa je izazvano zagađenje zanemarivo (Mara, 2004). Pročišćavanje otpadnih voda je proces kojim se smanjuje onečišćenje voda do one koncentracije kojom je pročišćena otpadna voda prilikom ispuštanja u okoliš neopasna za ljudsko zdravlje i ne uzrokuje neželjene promjene u okolišu. Navedene koncentracije pojedinih tvari moraju biti u skladu sa zahtjevima *Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 3/16)*. Prema navedenom Pravilniku komunalne otpadne vode bi se trebale pročišćavati na uređaju s drugim stupnjem pročišćavanja, a dodatni treći stupanj pročišćavanja obuhvaća komunalne otpadne vode koje se nakon pročišćavanja ispuštaju u prijamnik osjetljivog područja.

Izbor postupka pročišćavanja otpadne vode prije ispuštanja u okoliš najviše ovisi o količini i vrsti otpadne vode, ali i o potrebnoj kakvoći vode na mjestu ispuštanja. Obično se kombiniraju različiti postupci kako bi učinak svakog pojedinog postupka ili njihova kombinacija dali što bolje rezultate.

Otpadne vode mogu se pročišćavati primjenom:

- fizikalnih postupaka obrade otpadne vode koji uključuju taloženje ili sedimentaciju, flotaciju, filtraciju, otplinjavanje i odmuljavanje
- kemijskih postupaka koji obuhvaćaju precipitaciju, adsorpciju i dezinfekciju
- bioloških postupaka koji obuhvaćaju primjenu aktivnog mulja, biofiltera i drugih nosača mikroorganizama s ciljem provedbe postupka nitrifikacije, denitrifikacije te uklanjanje fosfora.

Ovisno o stupnju pročišćavanja te o primijenjenim postupcima koji se provode na uređaju za pročišćavanje razlikuju se:

- prethodno pročišćavanje (preliminarno)
- prvi stupanj pročišćavanja (primarno)
- drugi stupanj pročišćavanja (sekundarno)
- treći stupanj pročišćavanja (tercijarno).

3.1. Prethodno pročišćavanje

Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, čl. 3 prethodno pročišćavanje se definira kao predobrada otpadnih voda iz kojih se uklanjaju krupne, raspršene i plutajuće otpadne tvari (šljunak, pijesak, lišće, ulja i masti). Proces prethodnog pročišćavanja obuhvaća primjenu grubih i finih rešetaka kojima se uklanjaju onečišćenja koja mogu ometati rad uređaja ili uzrokovati začepljenje. Veličina otvora na rešetkama bira se ovisno o veličini otpadnih tvari koje želimo ukloniti. Sitnije čestice (npr. pijesak i šljunak) uklanjaju se procesom sedimentacije u uređajima koji se zovu pjeskolovi. Ulja, masti i ostale tvari koje imaju manju gustoću od vode uklanjaju se u mastolovima u kojima se s dna spremnika ispuštaju mjehurići zraka koji pristanju uz čestice i tako ih odvede na površinu.

3.2. Prvi stupanj pročišćavanja

Nakon prethodne obrade, slijedi prvi stupanj pročišćavanja koji podrazumijeva obradu komunalnih otpadnih voda fizikalnim i/ili kemijskim postupcima pri čemu se BPK₅ ulaznih otpadnih voda mora smanjiti za najmanje 20%, a ukupne suspendirane tvari za najmanje 50% prije ispuštanja (Državni plan za zaštitu voda, NN 8/99). Ovaj postupak se uglavnom temelji na procesu sedimentacije, a provodi se na način da otpadna voda kroz određeni vremenski period odležava u taložnici kako bi došlo do željenog odvajanja suspendiranih tvari. Primjenom nekih dodatnih metoda, kao što su koagulacija i flokulacija, postiže se brže i učinkovitije taloženje. Koagulacija predstavlja postupak remećenja agregatne stabilnosti (ravnoteže) čestica u otpadnoj vodi pomoću koagulanata (aluminij-sulfat, željezo-sulfat, željezo-klorid i vapno). Flokulacija je postupak spajanja koloidnih čestica, prethodno destabiliziranih procesom koagulacije, u veće čestice (flokule) koje se znatno brže talože.

3.3. Drugi stupanj pročišćavanja

Drugi stupanj pročišćavanja obuhvaća biološku obradu komunalnih otpadnih voda sa sekundarnim taloženjem ili druge postupke kojima se smanjuje koncentracija suspendirane tvari i BPK₅ za 70 do 90%, a koncentracija KPK za najmanje 75% (Državni plan za zaštitu voda, NN 8/99). Neki od procesa koji pripadaju ovom stupnju pročišćavanja su proces s aktivnim muljem, lagune, biljni uređaji za pročišćavanje i sl.

3.3.1. Uređaj na bazi aktivnog mulja

Proces na principu aktivnog mulja pripada skupini uređaja s drugim stupnjem pročišćavanja, kojem najčešće prethode postupci obrade prethodnog i prvog stupnja pročišćavanja. Ovaj postupak pročišćavanja obuhvaća primjenu biomase živih mikroorganizama koje se miješaju

s otpadnom vodom tvoreći tako aktivni mulj. Za odvijanje bioloških procesa neophodan je stalan dotok kisika pomoću površinskih aeratora i mješača ili upuhivanjem zraka u spremnik kroz potopljene difuzore. Na taj način je mikroorganizmima omogućeno nesmetano odvijanje procesa oksidacije organskog ugljika pri čemu nastaju ugljikov dioksid (CO_2) i voda (AZU voda, 2018). Nakon aeracije se mješavina otpadne vode i aktivnog mulja skuplja u sekundarnoj taložnici koja je oblikovana u obliku lijevka radi lakšeg i bržeg taloženja čestica mulja. Tijekom taloženja mulj se zbog svoje težine skuplja na dnu lijevka, dok se izbistrena voda odvodi prema kontrolnom mjernom oknu i zatim prema recipijentu. Dio mase istaloženog aktivnog mulja, kojeg čine flokule mikroorganizama, se iz sekundarne taložnice vraća ponovno u biospremnik, dok se višak mulja odvodi na obradu mulja prije odlaganja. Otpadni mulj se nakon analize može iskoristiti i kao visokokvalitetno gnojivo u poljoprivredi. Uređaj za pročišćavanje na bazi aktivnog mulja pogodan je za pročišćavanje otpadnih voda manjih naselja, poslovnih zona, turističkih kompleksa i sličnih sadržaja s kapacitetom do 2000 ES (Kardum, 2008).

3.3.2. Sekvencijalni šaržni reaktor (SBR)

Sekvencijalni šaržni reaktor (SBR) je sustav za biološku obradu otpadne vode koji radi na principu aktivnog mulja. Osnovna razlika u odnosu na konvencionalne uređaje s kontinuiranim protokom je što se svi koraci pročišćavanja vrše u jednom reaktoru, a obrada se vrši šaržno, tj. isprekidanim tokom, zbog čega je ovakav tip uređaja pogodan za manje sustave. S obzirom na to da je dotok otpadne vode kontinuiran često postoji potreba za postavljanjem više SBR reaktora u kojima se odvijaju različite faze obrade otpadne vode. Biološki proces odvija se jednako kao i u konvencionalnim postrojenjima gdje mikroorganizmi razgrađuju organski sadržaj otpadnih voda. Sustavima za aeraciju osigurava se opskrba kisikom prilikom procesa oksidacije organskih tvari. Nakon procesa aeracije slijedi faza taloženja mulja nakon koje slijedi ispuštanje pročišćene vode, dok se višak mulja s dna spremnika uklanja pomoću pumpe. Spremnik se nakon toga ponovno puni sa otpadnom vodom i time se započinje novi ciklus pročišćavanja (Poltak, 2005).

3.3.3. Membranski biološki reaktor (MBR)

Membranski biološki reaktor (MBR) je tehnološko rješenje za pročišćavanje otpadnih voda kod kojeg se kombiniraju procesi na principu aktivnog mulja sa sustavom membranske filtracije. Ovisno o željenom stupnju separacije upotrebljavaju se mikrofiltracijske i ultrafiltracijske membrane s veličinom pora od $0,01\ \mu\text{m}$ do $10\ \mu\text{m}$, koje mogu biti smještene izvan reaktora ili mogu biti uronjene u bioreaktor pa se procesi biorazgradnje i separacije

odvijaju u istom spremniku (Serdarević, 2014). Membrana biološkog reaktora služi kao selektivno propusna barijera gdje se čestice odjeljuju na temelju razlike u veličini i obliku. Dio tekuće faze koji je prošao kroz membranu naziva se permeat, dok je koncentrat onaj dio u kojem su zaostale koncentrirane otopljene tvari. Mehanički predtretman otpadne vode je neophodan kod MBR sustava kako bi se spriječio kvar i začepljivanje membrane. Jedna od glavnih prednosti korištenja ovog sustava pročišćavanja otpadnih voda je što se na malom prostoru mogu obraditi velike količine vode i što je takva voda vrlo visoke i ujednačene kakvoće (Mijatović i Matošić, 2015).

3.3.4. Prirodni uređaji za pročišćavanje

U slučaju kada korištenje sustava javne odvodnje i pročišćavanje komunalnih otpadnih voda konvencionalnim uređajima stvaraju prekomjerni trošak, mogu se koristiti neki drugi pojedinačni mali sustavi kojima će se postići jednaka zaštita vodnog okoliša. Primjeri takvih uređaja za pročišćavanje su polja za natapanje, podzemna filtracija, lagune, oksidacijski kanali i umjetne močvare ili biljni uređaji, koji se zbog svoje velike površine pretežito koriste u ruralnim područjima. Princip pročišćavanja biološkim uređajem temelji se na kombinaciji biološkog, fizikalnog i kemijskog procesa. Ti procesi oponašaju procese u prirodi i na taj način obrađuju, tj. pročišćavaju otpadnu vodu. Biološki uređaj sastoji se od jednog ili nekoliko bazena koji se grade s blagim nagibom i kroz koje prolazi otpadna voda. Dno bazena obloženo je s nepropusnom folijom ili ilovačom, a na tu podlogu ide supstrat u koji se sade autohtone biljke kao što su trska, šaš ili rogoz (Šperac i sur., 2013). Upotreba biljnih uređaja je uobičajena u mnogim razvijenim europskim zemljama kao što su Njemačka, Velika Britanija, Francuska, Danska, Austrija, Poljska i Italija (Stanković, 2017), a bitno je napomenuti da je upotreba takvih uređaja u konstantnom porastu. Primjena biljnih uređaja u Hrvatskoj je u usporedbi s ostatkom Europe relativno slaba, a glavni krivac za to je vjerojatno slaba izgrađenost komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i *Direktiva Europske unije 91/271/EEC o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda* (1991) kojom su prioritetno planirani i izgrađeni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda većeg kapaciteta od onog koji je prikladan za biljne uređaje. Biljni uređaji su se sve češće počeli koristiti i u Hrvatskoj, a neki od većih su Vinogradci, Hruščica, Žminj u Istri, autokamp Glavotok na Krku, autokamp Bijar na Cresu, biljni uređaj Jakuševac (Šperac i sur., 2013).

3.4. Treći stupanj pročišćavanja

Treći stupanj pročišćavanja smatra se najstrožim postupkom obrade komunalnih otpadnih voda koji se koristi u slučajevima kada je potrebno zadovoljiti posebne kriterije za pročišćene otpadne vode. U ovom stupnju pročišćavanja kombiniraju se fizikalno-kemijski, biološki i drugi postupci kojima se smanjuje koncentracija hranjivih tvari i uklanjaju drugi posebni pokazatelji otpadnih tvari do propisanih vrijednosti ovisno o veličini uređaja za pročišćavanje. Uglavnom se radi o uklanjanju dušika i fosfora.

Tablica 1. Granična vrijednost emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju trećeg stupnja pročišćavanja (Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, 2016)

Pokazatelji	Granična vrijednost	Najmanji postotak smanjena opterećenja
Ukupni fosfor	2 mg P/l (10 000 do 100 000 ES) 1 mg P/l (veće od 100 000 ES)	80
Ukupni dušik (organski N + NH ₄ -N + NO ₂ -N + NO ₃ -N)	15 mg N/l (10 000 do 100 000 ES) 10 mg N/l (veće od 100 000 ES)	70

4. ISPUŠTANJE OTPADNIH VODA U PRIJEMNIK

Zaštita voda u Republici Hrvatskoj temelji se na pravnim normama pa se tako ispuštanje komunalnih otpadnih voda regulira *čl. 62 Zakona o vodama* (NN, 46/18) po kojem su jedinice lokalne samouprave obavezne osigurati sakupljanje i pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, tj. otpadnih voda iz sustava javne odvodnje, prije njihovog ispuštanja u okoliš. Mnoga naselja u Hrvatskoj nemaju odgovarajući sustav javne odvodnje, a samim time niti odgovarajući postupak pročišćavanja otpadnih voda nego se one nepročišćene ispuštaju u okoliš što dovodi do mnogih negativnih utjecaja kako za okoliš tako i za ljudsko zdravlje. Ovaj problem je posebno izražen u područjima na kojima su raspoređena manja naselja koja su međusobno jako udaljena. U takvim slučajevima gradnja kanalizacijske mreže sa uređajem za pročišćavanje financijski nije isplativa (Kardum, 2008).

Tablica 2. Pregled sustava javne odvodnje prema stupnju pročišćavanja otpadnih voda (Ministarstvo poljoprivrede, 2016)

	Bez uređaja	Prethodni stupanj	1.stupanj	2.stupanj	3.stupanj	Pročišćava se	UKUPNO
Broj sustava	135	30	17	56	7	110	245
Broj priključenih stanovnika	446.178	453.024	116.182	878.599	65.180	1.512.985	1.959.163
Udio u ukupnom stanovništvu	10,4%	10,6%	2,7%	20,5%	1,5%	35,3%	45,7%

Prema *Planu upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021.* (Ministarstvo poljoprivrede, 2016) sustavi odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda pripadaju grupi točkastih izvora onečišćenje. Iz podataka navedenih u gornjoj tablici vidljivo je da su prema dokumentaciji Hrvatskih voda evidentirana 245 sustava javne odvodnje na koje je priključeno 1.959.163 stanovnika (46% ukupnog stanovništva). Pročišćavanjem otpadnih voda obuhvaćeno je 110 aktivnih komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda različitoga stupnja pročišćavanja, a na njih je priključeno 1.512.985 stanovnika (35% ukupnog stanovništva). 54% stanovništva nije uključeno u sustav javne odvodnje nego problem otpadnih voda rješavaju individualno, najčešće postupcima koji nisu povoljni za okoliš, a otpadne vode od tog dijela stanovništva sudjeluju u tzv. raspršenom opterećenju voda. Razina pokrivenosti sustava javne odvodnje razlikuje se među županijama, gradovima i općinama pa je tako u naseljima s većim brojem

stanovnika stupanj pokrivenosti uslugama javne odvodnje veći. Najveća pokrivenost oko 75% je na sustavima koji su veći od 150 000 ES, dok je najmanji stupanj pokrivenosti na sustavima manjim od 2 000 ES i iznosi oko 5%. ES (ekvivalent stanovnik) označava organsko biorazgradljivo opterećenje od 60 g O₂ dnevno, iskazano kao petodnevna biokemijska potrošnja kisika (BPK₅) (Hrvatske vode, 2015). Prema *Višegodišnjem programu gradnje komunalnih vodnih građevina* (Hrvatske vode, 2015) planirano je smanjenje točkastih izvora onečišćenja iz komunalnih sustava do 2023. godine za oko 70% za sustave od 2.000 ES do 10.000 ES, oko 77 % za sustave od 10.000 ES do 15.000 ES i 100 % za sustave s više od 15.000 ES. Planirana je izgradnja sustava sa drugim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda, osim u priobalnim područjima manje osjetljivosti gdje je za manje aglomeracije dovoljno pročišćavanja prvim stupnjem. Provedbom navedenog plana, priključenost na sustav javne odvodnje povećat će se na oko 60% ukupnoga broja stanovnika (2 660 000 stanovnika).

5. PONOVO KORIŠTENJE PROČIŠĆENE OTPADNE VODE

Porastom stanovništva rastu i potrebe za vodom, a smanjenje vodenih resursa sve nas više potiče na aktivnije razmatranje korištenja alternativnih izvora vode kao dopunu vodoopskrbe i zaštite prirodnih resursa. Primjena čiste vode je česta i tamo gdje se može upotrebljavati voda slabije kvalitete. Zbog toga se širom svijeta razvijaju nove metode za obradu otpadne vode, a pročišćavanje komunalnih otpadnih voda predstavlja jedno od rješenja za navedeni problem. Otpadne vode iz kućanstava obuhvaćaju tzv. crnu vodu, koja sadrži sav otpad iz toaleta i tzv. sivu vodu, koja sadrži sav otpad koji nastaje u kuhinji, tijekom kupanja i pranja rublja. Korištenjem sive vode na decentraliziranim lokacijama za navodnjavanje i ispiranje WC-a smanjuje se količina vode za piće koja se distribuira na udaljene lokacije i količinu otpadnih voda koje se transportiraju i obrađuju u postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda. Iz navedenog se može zaključiti da ponovna upotreba otpadne vode štedi vodu, energiju i novac (US EPA, 1998). Ponovna upotreba otpadne vode, tj. recikliranje vode predstavlja proces pretvaranja otpadne vode u vodu koja se može ponovno koristiti u druge svrhe. Kroz prirodni ciklus kruženja vode zemlja je reciklirala i ponovno iskoristavala vodu milijunima godina. Međutim, kad se spominje recikliranje vode, općenito se misli na projekte koji koriste tehnologiju za ubrzavanje tih prirodnih procesa. Obrada otpadnih voda može se prilagoditi zahtjevima kvalitete vode za planiranu ponovnu upotrebu. Reciklirana voda za navodnjavanje zahtijeva manje obrade od reciklirane vode koja se koristi kao pitka voda (US EPA, 1998). Pročišćene otpadne vode mogu se koristiti za navodnjavanje vrtova ili poljoprivrednih površina te za gnojidbu ribnjaka (Mara, 2004), ali i za druge namjene kao što je prikazano u tablici 3.

Tablica 3. Glavne primjene pročišćene otpadne vode u svijetu (Alcalde Sanz i Manfred Gawlik, 2014)

KATEGORIJA UPOTREBE	PRIMJENA
upotreba u gradovima	navodnjavanje javnih parkova, sportskih objekata, privatnih vrtova, čišćenje ulice, sustavi za zaštitu od požara, pranje automobila
poljoprivreda	njive, pašnjaci, voćnjaci, staklenici, vinogradarstvo, akvakultura
industrija	voda za proizvodnju, rashladna voda, voda za ispiranje
rekreacija	ribolov, plovidba, kupanje, navodnjavanje

	igrališta, proizvodnja umjetnog snijega
zaštita okoliša	punjenje rijeka i močvara, stanište divljih životinja, šumarstvo
voda za piće	ponovno punjenje površinskih vodenih tokova, obrada do kvalitetne pitke vode

Najviše sustava za recikliranje otpadne vode nalazi se u Japanu (> 1800) i SAD-u (> 800), a iza njih slijede Australija (> 450), Europa (> 200), Mediteran i Bliski Istok (> 100), Latinska Amerika (> 50) i Subsaharska Afrika (> 20) (Alcalde Sanz i Manfred Gawlik, 2014). Danas je taj broj vjerojatno puno veći s obzirom na brzi napredak u tehnologiji pročišćavanja otpadnih voda čime se omogućuje zajednicama da ponovno koriste vodu za različite svrhe. Međutim, otpadne vode sadrže široki spektar mikrobnih, kemijskih i fizikalnih onečišćivača koji predstavljaju rizik za ljudsko zdravlje i za okoliš. Korištenjem takve vode ne smije se uzrokovati prijenos bolesti pa se zbog toga otpadne vode moraju tretirati odgovarajućim postupcima prije njihove ponovne uporabe. Kako bi se smanjio rizik za ljudsko zdravlje i okoliš kod ponovne upotrebe pročišćene otpadne vode, sve veći broj zemalja počeo je uvoditi smjernice i propise za sigurno korištenje takve vode. Za ponovno korištenje vode u poljoprivredi i akvakulturi, Svjetska zdravstvena organizacija je uspostavila posebne smjernice (WHO, 2006) koje definiraju prihvatljive mikrobiološke limite za vodu koja se ponovno koristi. Te smjernice same po sebi ne predstavljaju regulatorni okvir već se prema njima donose propisi i zakoni vezani uz korištenje otpadnih voda. Bitno je napomenuti da se ove smjernice odnose na komunalne otpadne vode iz općinskih ili drugih postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, a udio industrijskih otpadnih voda u njima je ograničen. Američka agencija za zaštitu okoliša regulira mnoge aspekte pročišćavanja otpadnih voda i kvalitetu pitke vode, a većina država je uspostavila i neke kriterije ili smjernice za korisnu upotrebu reciklirane vode (US EPA, 1998).

5.1. Pročišćavanje otpadnih voda za ponovnu upotrebu

Voda koja se nakon prvog i drugog stupnja pročišćavanja želi ponovno iskoristiti za neke druge potrebe mora se još dodatno obraditi primjenom membranskih procesa do odgovarajuće kvalitete. Ovisno o namjeni takve vode, potrebna je još i eventualna dezinfekcija zbog zaštite od zaraza.

5.1.1. Membranski procesi

Membranski procesi se mogu razvrstati u nekoliko kategorija ovisno o veličini pora same membrane te ovisno o tlaku kojeg je potrebno primijeniti za pojedini proces. Ti postupci uključuju reverznu osmozu (RO), nanofiltraciju (NF), ultrafiltraciju (UF) i mikrofiltraciju (MF). Voda koja se u drugom stupnju pročišćavanja obrađivala primjenom konvencionalnih uređaja najprije treba proći obradu mikrofiltracijom, a zatim i reverznom osmozom, dok se primjenom MBR sustava postiže bolja kvaliteta vode koja odmah može na obradu reverznom osmozom (Mijatović i Matošić, 2015).

Tablica 4. Veličina pora i raspon transmembranskih tlakova za različite membranske procese (Mijatović i Matošić, 2015)

Proces	Veličina pora (nm)	Tlak (bar)
MF	>100	0,1-2
UF	5-100	1-5
NF	1-5	5-20
RO	<1	10-100

Za navedene membranske procese veličina pora smanjuje se od mikrofiltracije do reverzne osmoze, a samim time hidrodinamički otpor je sve veći pa raste i transmembranski tlak. Reverzna osmoza zbog toga zahtijeva primjenu visokog tlaka s ciljem savladavanja osmotskog tlaka.

5.1.2. Dezinfekcija vode

Tri glavna dezinfekcijska procesa za otpadne vode su kloriranje, ozoniranje i izlaganje ultravioletnom (UV) zračenju.

Dezinfekcija vode klorom

Mikrobiološko onečišćenje vode može se uspješno suzbiti dezinfekcijom pa mnogi sustavi za tretman otpadne vode koriste kloriranje kao dezinfekcijsku metodu. Spojevi na bazi klora koji se koriste prilikom dezinfekcije vode su elementarni klor, klorov dioksid, kalcijev i natrijev hipoklorit, kalcijev klorid-hipoklorit, kloramini i izocijanurati. Pri dezinfekciji vode klorom potrebno je obratiti pažnju na to da se dio klora troši na oksidaciju organskih tvari prisutnih u svakoj vodi (uključujući ovdje i mikroorganizme), na oksidaciju željeza i mangana prisutnih u nekim vodama, te na reakcije sa spojevima s dušikom. Vrijeme koje je potrebno za dezinfekciju vode iznosi minimalno 30 minuta. Ako je nakon obavljene dezinfekcije ostao

višak klora u vodi smatra se da je proces dezinfekcije uspješno izvršen. Ovaj višak naziva se rezidualni klor čija koncentracija u vodi za piće treba biti u rasponu od 0,1 do 0,5 mg/l. U slučaju kada se nakon obavljene dezinfekcije ne utvrdi slobodni rezidualni klor u koncentraciji od najmanje 0,1 mg/l potrebno je ponoviti cijeli postupak (Mijatović i Matošić, 2015).

Dezinfekcija vode ozonom

Dezinfekcija vode ozonom smatra se jednom od najboljih metoda dezinfekcije vode zbog toga što se njegovom uporabom vrši potpuna dezinfekcija vode (dolazi do inaktivacije virusa), razgrađuju se i oksidiraju organske tvari te mangan i željezo, poboljšava se okus i miris vode, uklanja se boja vode, ne dolazi do promjene mineralnog sastava vode i ne nastaju trihalometani. Ozon se proizvodi propuštanjem struje suhog zraka između dvije elektrode pod visokim naponom od 3000-20.000 V i pri frekvenciji od 600-1200 Hz. Pri tome se molekula kisika raspada na slobodni radikal kisika koji reagira s molekulom kisika stvarajući ozon (Mijatović i Matošić, 2015).

Dezinfekcija vode ultravioletnim zračenjem

UV dezinfekcija je efikasan način za suzbijanje svih bakterija, virusa i spora izazivanjem fotokemijskih promjena unutar stanica organizama, odnosno oštećivanjem DNA ili RNA stanice mikroorganizma. Voda koja se dezinficira UV zrakama treba biti potpuno bistra da se omogući što bolji prodor UV zraka. UV dezinfekcija koristi kvarcne lampe sa živinom parom ili lampe u kojima su pomiješani plemeniti plinovi i živina para. Zračenje treba biti od 200 do 295 nm kako bi se postiglo oštećenje DNA ili RNA stanice mikroorganizma. Neke od najvažnijih prednosti UV dezinfekcije su što kod korištenja nema štetnih kemikalija, mala je potrošnja energije, UV zrake ne utječu na okus i miris vode, a dezinfekcija traje vrlo kratko (20-30 s) (Mijatović i Matošić, 2015).

5.2. Primjeri iz svjetske prakse

Voda je neophodna za život, a mnogi ljudi diljem svijeta olako shvaćaju tu činjenicu. Veliki dio otpadnih voda otpušta se u okoliš direktno, bez prethodnog pročišćavanja, ali postoje i neki dobri primjeri odgovornog korištenja vode. U nastavku su navedene neke zemlje koje upotrebljavaju procese pročišćavanja otpadne vode i koriste tu vodu za različite namjene.

Saint Petersburg (Florida)

Američki grad Saint Petersburg (Florida) još od 1977. godine ima razvijeni dvostruki sustav za distribuciju pročišćenih otpadnih voda. Jedna od prvih odluka donesenih tijekom razvoja

dvostrukog distribucijskog sustava uključivala je bojanje svih PVC cijevi, koristeći plavu boju za pitku vodu, zelenu za kanalizaciju i smeđu za obnovljenu vodu. Prije nekoliko godina smeđu boju zamijenila je ljubičasta kao standardna boja za prepoznavanje reciklirane vode u SAD-u. Reciklirana otpadna voda koristi se za zalijevanje travnjaka i vrtova, pranje automobila, rublja, za fontane i sl. Bitno je napomenuti da nije bilo prijavljenih slučajeva bolesti uzrokovanih korištenjem reciklirane vode u Saint Petersburgu (Crook, 2005).

Windhoek, Namibija

Primjer izravne ponovne upotrebe pitke vode je slučaj Windhoek, glavnog grada Namibije. Namibija je jedna od najsušnijih zemalja u Južnoj Africi u kojoj više od 80% teritorija čine pustinje ili polupustinje pa je zbog tog razloga u prošlosti problem pitke vode bio jedan od najvažnijih problema u državi (Lahnsteiner i Lempert, 2007). Navedeni problem riješen je 1968. godine na način da se obrađena otpadna voda počela miješati s pitkom vodom. Ovaj je sustav proizvodnje pitke vode prošao kroz niz izmjena i poboljšanja tijekom godina, a voda koja je proizvedena na ovaj način prihvatljive je kakvoće, što je dokazano sveobuhvatnim kemijskim, bakteriološkim, virološkim i epidemiološkim nadzorom. Ekološka studija provedena na ovom području 1996. godine nije dala nikakve dokaze da reciklirana voda ima negativan učinak na učestalost raka, smrtnost ili zarazne bolesti (Rodriguez i sur., 2009). Metode kojima se otpadne vode Namibije pročišćuju do kvalitetne pitke vode obuhvaćaju predozoniranje, koagulaciju, flokulaciju i flotaciju, brzu filtraciju, glavno ozoniranje, ultrafiltraciju i dezinfekciju klorom. Kako bi se povećala razina svijesti o uštedi vode i prihvaćanja izravnog korištenja obrađene otpadne vode grad Windhoek organizirao je odgovarajuće obrazovne programe u školama, radio i televizijskim programima kao i u tiskanim medijima, čime je promijenjena percepcija stanovništva o upotrebi takve vode (Lahnsteiner i Lempert, 2007). Ovaj primjer pokazuje da je obrada otpadnih voda praktičan i odgovoran način povećanja zaliha pitke vode u sušnim područjima.

Singapur

Singapur je mala otočna država u jugoistočnoj Aziji koja je zbog svojeg geografskog položaja ograničena zalihama pitke vode. Brzi industrijski i gospodarski rast rezultirali su sve većim potrebama za vodom pa je Singapur bio prisiljen razviti inovativna rješenja kako bi zadovoljio svoje potrebe za vodom. Jedno od tih rješenja uključivalo je obradu i ponovno korištenje otpadne vode koja se danas u većoj mjeri koristi za industrije u kojima se koristi voda visoke čistoće, dok se jedan manji dio ponovno vraća u spremnike za pitku vodu. U prvoj fazi pročišćavanja mikrofiltracijom se uklanjaju suspendirane krute tvari, bakterije i virusi, nakon

čega slijedi druga faza u kojoj se koristi postupak pročišćavanja reverznom osmozom. U tom se procesu kroz polupropusnu membranu s vrlo malim porama voda filtrira na način da samo molekule vode prolaze kroz membranu. Već nakon ovog postupka dobivena voda je vrlo visoke kakvoće, ali se zbog dodatne sigurnosti još dodatno dezinficira UV zrakama (PUB, 2018).

Krajem 2002. godine Singapur je uspješno brendirao flaširanu recikliranu vodu pod imenom NEWater, koja se proizvodi primjenom najnaprednijih tehnologija pročišćavanja čime se dobije iznimno čista voda sigurna za piće (NEWater Visitor Centre, 2018). NEWater sada zadovoljava oko 40% ukupne upotrebe Singapura, a do 2060. godine Nacionalna agencija za vodu Singapura planira trostruko povećati trenutni kapacitet kako bi se zadovoljilo čak do 55% buduće potrebe za vodom u Singapuru. NEWater je dokaz da se korištenjem današnjih tehnologija za obradu vode, voda bilo koje kvalitete može pročistiti do kvalitete vode za piće (PUB, 2018).

Izrael

Izrael je država na Bliskom istoku koja je okružena susjedima s kojima ima povijest sukoba. Više od polovice države je pustinja pa je Izrael potaknut potrebom za osiguravanjem pouzdanih vodenih resursa razvio inovativne načine očuvanja, poboljšanja i ponovne uporabe otpadne vode. Izrael se smatra svjetskim liderom u pogledu ponovne uporabe obrađene otpadne vode, gdje se više od 80% obrađene otpadne vode ponovno koristi za različite namjene u poljoprivredi, vrtlarstvu i industriji. Obrađena otpadna voda može sadržavati hranjive tvari kao što su dušik i fosfor pa se korištenjem takve vode za navodnjavanje može smanjiti upotreba umjetnih gnojiva. Ponovno korištenje obrađene otpadne voda zahtijeva postojanje dvostrukog sustava kojim se distribuira pitka voda i obrađena otpadna voda (State of Israel- Ministry of Health, 2018). Postrojenja za pročišćavanje i obradu otpadnih voda uklanjaju organske tvari pomoću mikroorganizama, a otpad koji nastaje uklanjanjem organskih tvari koristi se kao gnojivo u poljoprivredi. Procjenjuje se da će obrađene otpadne vode pokriti 50% poljoprivredne potrebe do 2020. godine, a nacionalna politika zahtijeva da se regenerirane otpadne vode u konačnici 100% iskorištavaju u poljoprivredi (Inbar, 2007).

Kalifornija

Korištenje reciklirane vode u Kaliforniji je vrlo rašireno, točnije 51 od ukupno 58 okruga ima program korištenja reciklirane vode. U prošlosti je negativna percepcija javnosti bila jedan od najvećih izazova za provedbu sustava za ponovnu upotrebu obrađene otpadne vode. Neki od predloženih projekata ponovne upotrebe obrađene otpadne vode nisu provedeni zbog toga što javnost nije bila dovoljno informirana o sigurnosti korištenja takve vode. Najveća

zabrinutost javnosti je da obrađena voda nije dovoljno čista i da time nije sigurna za korištenje. Planirana izgradnja postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda u Los Angelesu je jedan od projekata koji nije uspješno proveden upravo zbog nedovoljne informiranosti javnosti o potencijalnim rizicima za zdravlje pa je projekt službeno ukinut 2001. godine. Međutim, grad San Diego je 2009. godine pokrenuo projekt za izgradnju postrojenja za obradu otpadne vode koja bi se koristila za navodnjavanje i industrijske potrebe, a istovremeno se javnost počela informirati i educirati o svim prednostima kao i sigurnom korištenju obrađene otpadne vode. Ovaj projekt je jednoglasno odobren upravo zbog potpore javnosti (Sokolow, 2015). Ovim projektom planira se do 2035. godine povećati korištenje otpadne vode pa će se tako jedna trećina vodoopskrbe San Diega opskrbljivati obrađenom otpadnom vodom (The City of San Diego, Pure Water San Diego Program).

Teksas

Teksas je u jednom periodu u prošlosti bio među najpoželjnijim mjestima za život u SAD-u zbog čega je došlo do naglog porasta stanovništva, od 7,7 milijuna 1950. godine do 20,8 milijuna 2000. godine. Povećanjem stanovništva, širenjem grada i povećanjem industrijske proizvodnje sve je više rasla i potreba za vodom. Zbog toga je bilo potrebno pronaći nove izvore vode. Ponovno korištenje obrađene otpadne vode ima dugu tradiciju u Teksasu. Najprije se obrađena otpadna voda iskorištavala samo za navodnjavanje u poljoprivredi, ali se zbog sve većeg rasta stanovništva ova praksa proširila i na industrijsku upotrebu. Međutim, javnost još uvijek nije prihvatila opciju izravnog korištenja obrađene otpadne vode za piće (Montgomery, 2014).

5.3. Stanje na razini Europske unije

Uvjeti zdravstvene zaštite i zaštite okoliša u kojima se otpadne vode mogu ponovno iskoristiti nisu posebno regulirani na razini Europske unije, tj. na razini EU ne postoje nikakve smjernice ili propisi o kvaliteti otpadne vode za ponovnu upotrebu. Međutim, svaka država zasebno bi prilikom stvaranja zakona i propisa morala uzeti u obzir čl. 12 *Direktive Europske unije 91/271/EEC o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda* (1991) kojim se zahtijeva da se "obrađena otpadna voda ponovno koristi kada god je to moguće" i "zbrinjavanjem otpadnih voda moraju se minimalizirati štetni učinci na okoliš". Iako Europska unija nema propisane kriterije za ponovnu uporabu otpadne vode, nekoliko država članica imaju vlastite zakone, propise ili smjernice za različite primjene pročišćenje otpadne vode (npr. Cipar, Francuska, Grčka, Italija, Portugal i Španjolska). Neke od planiranih primjena otpadne vode prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Planirana ponovna upotreba otpadne vode u zemljama članicama EU (Alcalde Sanz i Manfred Gawlik, 2014)

	Cipar	Francuska	Grčka	Italija	Portugal	Španjolska
navodnjavanje privatnih vrtova						✓
opskrba sanitarnih uređaja				✓		✓
navodnjavanje urbanih područja (parkovi, sportski tereni)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
čišćenje ulica			✓	✓		✓
vatrogasni hidranti			✓	✓		✓
pranje automobila				✓		✓
navodnjavanje usjeva	✓	✓	✓	✓	✓	✓
akvakultura						✓
procesna voda industrije			✓	✓		✓
rashladni tornjevi			✓	✓		
šumarstvo						✓

Svi procijenjeni standardi odnose se na ponovnu uporabu pročišćenih gradskih i industrijskih otpadnih voda, osim standarda Cipra i Portugala koji se odnose samo na komunalne otpadne vode. Španjolski i grčki propisi primjenjuju se na većinu dozvoljenih uporaba navedenih u tablici. Talijanski propisi opisuju nekoliko urbanih, poljoprivrednih i industrijskih namjena pa se tako obrađena otpadna voda može koristiti za navodnjavanje usjeva i javne zelene površine. Industrijska uporaba dopuštena je samo ako voda nema izravnog kontakta s hranom, farmaceutskim ili kozmetičkim proizvodima. Portugal, Cipar i Francuska u svojim smjernicama dopuštaju primjenu obrađene otpadne vode samo za navodnjavanje urbanih područja i poljoprivrede, isključujući industrijsku uporabu i urbane namjene. Španjolski zakon jedini uključuje uporabu obrađene otpadne vode za navodnjavanje privatnih vrtova, ali samo u slučaju kada je u sustavu vodovoda voda za piće odvojena od otpadne vode. Španjolska također jedina ima propisanu ponovnu uporabu otpadne vode u akvakulturi i šumarstvu.

5.4. Stanje u Hrvatskoj

Prema podacima Eurostata (ESTAT, 2017) Republika Hrvatska svrstava se među 30 vodom najbogatijih zemalja svijeta. U europskim okvirima nalazimo se na visokom trećem mjestu, odmah nakon Norveške i Islanda. Voda se u Hrvatskoj u 90% slučajeva crpi iz podzemnih izvora (DZS, 2017). Bitno je napomenuti da se Hrvatska nalazi među malobrojnim zemljama koje sustavom javne vodoopskrbe najvećem dijelu zemlje osiguravaju zdravstveno ispravnu pitku vodu. Iako mnoge zemlje obrađuju svoju otpadnu vodu i ponovno je koriste za istu ili drugu namjenu, ovakav odnos prema otpadnoj vodi još uvijek nije uobičajen u našim krajevima. Obradena otpadna voda mogla bi se iskorištavati za navodnjavanje u poljoprivredi, ali što se toga tiče u Hrvatskoj se, bez obzira na bogati vodni potencijal i plodno tlo, navodnjavaju jako male površine. Poljoprivredna proizvodnja u Hrvatskoj je uglavnom orijentirana na proizvodnju kultura za koje nije nužno navodnjavanje (npr. žitarice i kukuruz), tako da se prema službenim podacima iz 2004. godine u cijeloj Hrvatskoj navodnjavalo samo oko 0,86% poljoprivrednih površina. Provedbom Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama, navodnjavanje se u Hrvatskoj do 2007. godine povećalo za više od 50%. Vode koje se koriste za navodnjavanje uglavnom se crpe iz rijeka ili jezera, ali veliki problem je i nekontrolirano crpljenje podzemnih voda (Hrvatske vode, 2009). Glavni razlog što zanemarujemo činjenicu da je voda osnova bez koje nema života je vjerojatno slaba ekološka osviještenost. Hrvatska je bogata zalihama vode pa se zbog toga ona tretira kao nešto čega ima u izobilju, a zaboravlja se činjenica da u mnogim dijelovima svijeta ljudi svakodnevno umiru upravo zbog nedostatka kvalitetne vode. Još jedan razlog zbog kojeg Hrvati nemaju naviku odgovornog korištenja vode je da je u prošlosti cijena vode bila niska, ali razvojem situacije i praćenjem svjetskih trendova i to se mijenja pa će tako u budućnosti cijena vode zasigurno još više porasti. Moguće je da će to biti okidač koji će napokon pokrenuti svijest ljudi i da će se krenuti s projektima obrade i ponovnog korištenja otpadne vode i u Hrvatskoj.

6. ZAKLJUČAK

Voda je jedinstveni i nezamjenjivi prirodni resurs koji ljudskoj populaciji stoji na raspolaganju u ograničenim količinama pa bi pametno gospodarenje vodom trebalo postati navika svim ljudima. Otpadna voda je štetna za okoliš i za ljudsko zdravlje ukoliko se prije ispuštanja u okoliš ne pročistiti odgovarajućim postupcima. Korištenje obrađene otpadne vode treba se smatrati dobrim načinom za povećanje vodenih resursa. Međutim, nedostatak učinkovitih sustava prikupljanja i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda širom svijeta rezultira nemogućnošću obrade i ponovne upotrebe tih istih otpadnih voda. Dodatnu prepreku predstavlja javna percepcija koja može izazvati strah od konzumiranja hrane koja je navodnjavana otpadnom vodom. Potrebno je provoditi razne programe kojim bi se javnost educirala o sigurnosti i prednostima korištenja obrađene otpadne vode. Iako je Hrvatska bogata zaliham pitke vode, nepobitna je činjenica da mnoge europske i svjetske zemlje nemaju dostupnu zdravstveno ispravnu vodu za piće. Postoji ogroman potencijal vezan uz recikliranje otpadne vode i bila bi prava šteta da se taj potencijal što više ne iskoristi. U Singapuru i Namibiji se ograničene zalihe pitke vode povećavaju dodavanjem visoko obrađenih otpadnih voda. Budući da klimatske promjene i rast stanovništva opterećuju slatkovodne resurse, takve će strategije vjerojatno postati sve češće diljem svijeta.

7. LITERATURA

Alcalde Sanz, L., & Manfred Gawlik, B., (2014), *Water reuse in Europe- Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, pp.9-26.

AZU Voda, [Internet], <raspoloživo na: <https://www.azuvoda.hr/sekundarni-tretman/uredaj-na-bazi-aktivnog-mulja/> >, [pristupljeno 27.08.2018].

Crook, J., (2005), Municipal Water Use: St. Petersburg, Florida, Dual Water System: A Case Study, National Research Council, *Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop*, Washington, D.C.: The National Academies Press, pp.173-186.

Državni plan za zaštitu voda, (1999), Zagreb: Vlada Republike Hrvatske, Narodne novine, br. 8/1999.

Državni zavod za statistiku (DZS), (2017), Opskrba vodom u javnom vodovodu prema vrsti izvora za 2017. godinu. [Internet], <raspoloživo na: https://www.dzs.hr/App/PXWeb/PXWebHrv/Selection.aspx?px_tableid=SV11.px&px_path=Okolis_Statistika%20voda_Sakupljanje%20prociscavanje%20i%20distribucija%20voda&px_language=hr&px_db=Okolis&rxid=539b2035-903a-4bf5-9523-07672d8733f0 >, [pristupljeno 11.08.2018].

EC (European Commission), (1991), Directive of the European Parliament and of the Council of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC). Official Journal of the European Communities No. L 135/40.

Eurostat (ESTAT), (2017), Water statistics. [Internet], <raspoloživo na: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics >, [pristupljeno 11.08.2018].

Glancer-Šoljan, M., Landeka Dragičević, T., Šoljan, V., & Ban, S., (2001), Biološka obrada otpadnih voda. Interna skripta.

Hrvatske vode, (2009), *Strategija upravljanja vodama*, Zagreb: Hrvatske vode.

Hrvatske vode, (2015), *Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina*, Zagreb: Vlada Republike Hrvatske, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Hrvatske vode.

Inbar, Y., (2007), New Standards for Treated Wastewater Reuse in Israel, In Zaidi M.K. (Ed.), *Wastewater Reuse- Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security* (pp. 291-296). Dordrecht: Springer.

James, K., Campbell, S.L., & Godlove, C.E., (2002), *Watergy: Taking Advantage of Untapped Energy and Water Efficiency Opportunities in Municipal Water Systems*, Washington, DC: Alliance to Save Energy.

Kardum, M., (2008), Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda na bazi aktivnog mulja, *Građevinar*, 60(5), 421-428.

Lahnsteiner, J., & Lempert, G., (2007), Water Management in Windhoek- Namibia, *Water Science & Technology*, 55(1-2), pp. 441-8.

Mara, D., (2004), *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London: Earthscan Publications, pp.1-7.

Mijatović, I., & Matošić, M., (2015), Tehnologija vode. Interna skripta.

Montgomery, J., (2014), *Wastewater Reuse in Texas*, Texas Water Policy, LBJ School of Public Affairs at the University of Texas at Austin. [Internet], <raspoloživo na: <https://static1.squarespace.com/static/54c15aa8e4b08b9c092063a6/t/54d01d95e4b06b7d5c34e7e0/1422925205087/RP-Montgomery.pdf> >, [pristupljeno 14.08.2018].

NEWater Visitor Centre, [Internet], <raspoloživo na: <https://web.archive.org/web/20160528095250/http://www.pub.gov.sg/water/newater/Pages/default.aspx>>, [pristupljeno 11.08.2018].

Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021., (2016), Zagreb: Vlada Republike Hrvatske, Ministarstvo poljoprivrede.

Poltak, R.F., (2005), *Sequencing Batch Reactor Design and Operational Considerations*, NEIWPCC, Massachusetts.

Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, (2016), Zagreb: Ministarstvo poljoprivrede, Narodne novine, br. 80/13, 43/14, 27/15, 3/16.

PUB Singapore's National Water Agency, [Internet], <raspoloživo na: <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater> >, [pristupljeno 30.08.2018].

Rodriguez, C., Van Buynder, P., Lugg, R., Blair, P., Devine, B., Cook, A., & Weinstein, P., (2009), Indirect Potable Reuse: A Sustainable Water Supply Alternative, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(3), pp.1174–1209.

Serdarević, A., (2014), Razvoj i primjena MBR tehnologije u procesu prečišćavanja otpadnih voda, *Vodoprivreda*, 46, 77-87.

Sokolow, S., (2015), Urban Recycled Water Use in California: A Briefing Paper on Status, Opportunities for Expansion, and the Environmental Health Benefits, The Los Angeles Sustainability Collaborative (LASC). [Internet], <raspoloživo na: <http://lasustainability.org/wp-content/uploads/2012/07/LASC-Report-21August2015-Final.pdf> >, [pristupljeno 13.08.2018].

Stanković, D., (2017), Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, *Građevinar*, 69(8), 639-652.

State of Israel- Ministry of Health, (2018), Wastewater Collection and Treatment Systems. [Internet], <raspoloživo na: https://www.health.gov.il/English/Topics/EnviroHealth/Reclaimed_Water/facilities/Pages/facility.aspx >, [pristupljeno 11.08.2018].

Šperac, M., Kaluđer, J., & Šreng, Ž., (2013), Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS*, 4(7), 76-86.

The City of San Diego, Pure Water San Diego Program. [Internet], <raspoloživo na: <https://www.sandiego.gov/water/purewater/purewatersd> >, [pristupljeno 11.08.2018].

United States Environmental Protection Agency (US EPA), (1998), Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits, EPA 909-F-98-001. [Internet], <raspoloživo na: <https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/pdf/brochure.pdf> >, [pristupljeno 06.08.2018].

World Health Organization (WHO), (2006), *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*, 3rd ed., Geneva: World Health Organization.

Zakon o vodama, *Narodne novine*, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14, 46/18.

Zadnja stranica završnog rada

(uključiti u konačnu verziju završnog rada u pdf formatu, kao skeniranu potpisanu stranicu)

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Ana-Petra Kovac

ime i prezime studenta